

ENTWURF EINER INTEGRIERTEN PLANUNGSANZEIGE FÜR DEN TOWER-CONTROLLER

J. Bergner
DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Forschung und Entwicklung
Am DFS Campus 10
63225 Langen

C. König T. Hofmann
Institut für Arbeitswissenschaft
Technische Universität Darmstadt
Petersenstrasse 30
64287 Darmstadt

H. Ebert
delair Air Traffic Systems GmbH
Lilienthalplatz 3
38108 Braunschweig

1. KURZFASSUNG

Im Rahmen des nationalen Luftfahrtforschungs-programmes LUFO III entstand in Zusammenarbeit von delair Air Traffic Systems GmbH und der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH eine Konzept zur kooperativen Planung von An- und Abflügen an einem Großflughafen. Vor der Maßgabe, die knappe Ressource des Start- und Landebahnsystems möglichst optimal auszunutzen, wurden dazu die beiden bereits betrieblich eingesetzten Planungssysteme „4-D Planer“ (Arrival-Manager) und „darts“ (Departure-Manager) miteinander gekoppelt.

Der vorliegende Artikel beschreibt die Entwicklung einer geeigneten Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), um dem Platzlotsen eines Hub-Airports eine effiziente Abwicklung des Verkehrs gemäß dieser kooperativen Planung zu ermöglichen. Heute werden für die Arrivals und Departures jeweils eigene Systeme eingesetzt und die Darstellung der Flugplaninformation erfolgt auf separaten Monitoren. Sowohl die Gestaltung der HMIs als auch die Interaktionsmöglichkeiten sind sehr unterschiedlich.

Am Beispiel des Flughafens Frankfurt konzentriert sich die Untersuchung daher auf zwei Schwerpunkte. Neben der Vereinheitlichung der graphischen Darstellung und der Interaktionsmöglichkeiten ist das Ziel, dem Lotsen eine möglichst schnelle Erfassung der Planungssituation zu ermöglichen, da sein Hauptaugenmerk auf der Beobachtung des Verkehrs anhand der Aussensicht liegt.

Der Entwurf des HMI erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Firma delair Air Traffic Systems GmbH und dem Institut für Arbeitswissenschaft der TU-Darmstadt. Zur Analyse des Ist- und des Soll-Zustandes werden betrieblich eingesetzte Fluglotsen im Rahmen von Experten-Workshops und Einzelbefragungen eingebunden.

Ausgehend von einem Basis-Entwurf erfolgt eine Bewertung und schrittweise Weiterentwicklung mit Hilfe von mehreren Realzeit-Simulationen. Die Simulations-Infrastruktur besteht dabei aus einem gekoppelten 3D Tower- und Center-Simulator, die eine realitätsnahe Abwicklung des Verkehrs durch betriebliche Lotsen von der Vorfeldposition bis hin zur TMA ermöglicht. Als Ergebnis der Untersuchung liegt ein betrieblich und arbeitswissenschaftlich bewerteter Prototyp des HMI vor.

2. EINLEITUNG

Der Beruf des Fluglotsen ist eine hoch beanspruchende Tätigkeit. Ein hohes Maß an Verantwortung verbunden mit extrem kurzen Entscheidungsphasen führen zu einer starken Arbeitsbelastung. Der zunehmende Luftverkehr und die immer komplexeren Entscheidungsketten steigern diese zusätzlich (Leonhardt 2005; Manning 2005).

Dies gilt auch für den Arbeitsplatz des Tower-Lotsen, zu dessen Aufgaben die Koordination der Starts und Landungen gehört. Besonders in Phasen hohen Flugverkehrsaufkommens muss er in kurzer Zeit eine Vielzahl unterschiedlicher Informationen verarbeiten sowie schnell und sicher handeln.

Während Anflugplanungssysteme in der Strecken- und Anflugkontrolle verschiedener europäischer Großflughäfen bereits seit vielen Jahren eingesetzt werden, haben sich Abflugplanungssysteme, die die Tower- und Vorfeld-Lotsen bei der Abwicklung der Abflüge unterstützen, bis dato noch nicht weit verbreitet.

Der nächste logische Schritt besteht in einer gekoppelten An- und Abflugplanung mit dem Ziel, die vorhandene Infrastruktur optimal zu nutzen und allen Akteuren, wie z.B. Fluglinien, Flughafenbetreibern und Flugsicherung eine einheitliche Planungsinformation zur Verfügung zu stellen. Zur Zeit existiert noch kein vergleichbares, operationell nutzbares System.

Im Rahmen des nationalen Luftfahrtforschungs-programmes LUFO III entstand daher in Zusammenarbeit von de-lair Air Traffic Systems GmbH und der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH ein Konzept zur kooperativen Planung von An- und Abflügen an einem Großflughafen. Während dieser Arbeiten wurde deutlich, dass das volle Potential der gekoppelten technischen Systeme erst durch eine neu zu entwerfende, integrierte Planungsanzeige für den Tower-Lotsen genutzt werden kann.

Die Herausforderung bei der Entwicklung der neuen Planungsanzeige besteht darin, eine für die Arbeitsaufgabe und -situation optimal angepasste Gestaltungslösung zu entwickeln, die sowohl ergonomischen und betrieblichen Anforderungen genügt als auch die Akzeptanz der Lotsen besitzt.

Die im Rahmen des LUFO IV Verbundvorhabens „Wettbewerbsfähiger Flughafen“ (WFF) durchgeführte Untersuchung konzentriert sich daher auf zwei Schwerpunkte. Neben der Vereinheitlichung der graphischen Darstellung und der Interaktionsmöglichkeiten ist das Ziel, dem Lotsen eine möglichst schnelle Erfassung der Planungssituation zu ermöglichen, da sein Hauptaugenmerk auf der Beobachtung des Verkehrs anhand der Aussensicht liegt.

Der Entwurf soll beispielhaft für den Platzlotsen erstellt werden, der für das Parallelbahnsystem am Flughafen Frankfurt zuständig ist.

3. STAND DER TECHNIK

Die Arbeitsplatzgestaltung in den Kontrolltürmen ist heute typischerweise stark geprägt von einer systembezogenen Darstellung von Informationen. Gleichartige Funktionen bzw. Informationen werden in speziellen Systemen z.B. für die Luft- und Bodenlagedarstellung, die Flugplan- und Wetterinformationen zusammengefasst. In der Regel erfolgt die Anzeige und die Interaktion mit diesen Systemen auf getrennten Monitoren bzw. mit separaten Eingabemedien. Im einfachsten Fall sind dies mehrere Tastaturen und Computer-Mäuse. Typisch ist jedoch ein Mix aus Standard- und Spezial-Tastaturen, Trackballs, Finger- und Stift-Touch Monitoren.

3.1. DEPCOS

Das Departure-Coordination-System (Depcos) ist eines der zentralen Tower-Systeme. Es beinhaltet den aktuellen Flugplan sowie alle notwendigen Details zur Kennzeichnung eines Abfluges in einer monochromen Textdarstellung (BILD 1). Zum System gehört eine spezielle Tastatur, die auf die Bedürfnisse der Bildschirmbedienung abgestimmt ist.



BILD 1: DEPCOS Anzeige

3.2. Tower-TID

Für die Bearbeitung der Anflugsequenz wurden ursprünglich die in der Flugsicherung üblichen Papierstreifen verwendet. Wesentliches Kennzeichen des Abflug-Prozesses ist, dass dem Flugzeug im zeitlichen Verlauf der jeweils aktuelle Status der Luftverkehrsfreigabe zugewiesen wird. Ursprünglich wurde dies auf Papierstreifen dokumentiert. Heute wird dazu das Tower-Touch-Input-Device (Tower-TID) verwendet. Es basiert auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm, auf dem die Anflugsequenz in Form einer Zeitleiter dargestellt ist (BILD 2).

Dazu werden die erwarteten Landezeiten auf der Grundlage der Luftlagedaten bestimmt und die einzelflug-bezogenen Daten entsprechend an der Zeitleiter dargestellt. Der aktuelle Status des Anfluges wird per Finger-Touch eingegeben und mit Hilfe einer farblichen Markierung visualisiert.

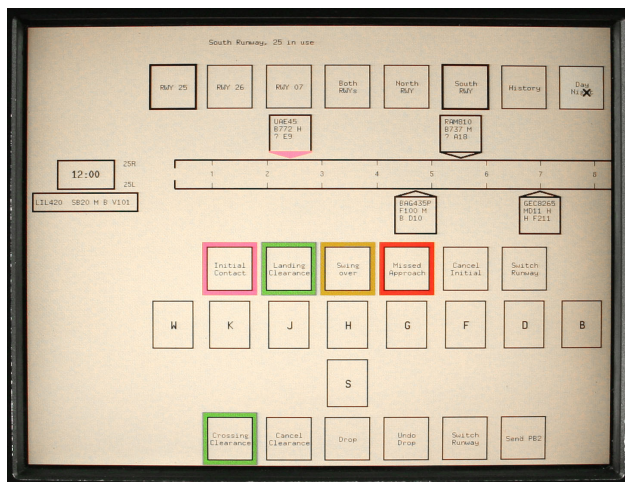


BILD 2: Tower-TID Anzeige

4. EVOLUTIONÄRES PROTOTYPING

Ausgehend von einem Basis-Entwurf erfolgt die Bewertung und schrittweise Weiterentwicklung mit Hilfe von Realzeitsimulationen. Das Vorgehen folgt dabei dem Prinzip des iterativen Designs (Genov 2005): Nach Analyse der bestehenden Arbeitssituation, der Arbeitsaufgaben sowie aktueller Bedienkonzepte wurden Soll-Kriterien für das Interface definiert und der Basis-Entwurf erstellt. Ein Entwicklungsschritt besteht daraufhin aus der Implementierung, der Bewertung des Entwurfs in einer Realzeitsimulation sowie der Ableitung von Verbesserungen. Im vorliegenden Fall wurden nacheinander vier solcher Entwicklungsschritte vollzogen.

4.1. Simulationsumgebung

Für die Evaluation war die Realitätstreue der Simulation von großer Bedeutung. Daher wurde als Testumgebung der gekoppelte 3D-Tower- und Center-Simulator der DFS ausgewählt. Dieser stellt den Arbeitsplatz des Tower-Lotsen realitätsgetreu inklusive einer vollständigen Rundumsicht dar und bietet damit eine ähnliche Situation wie im realen Tower.

Die Simulationsumgebung umfasst die Arbeitsplätze von Anflugkontrolle, Tower und Vorfeldkontrolle. Alle diese Arbeitsplätze werden besetzt, um Eingaben und Funkverkehr analog zum normalen Tower-Betrieb durchzuführen. Reale Personen übernehmen außerdem als so genannte „Pseudopiloten“ die Rolle der Piloten, indem sie die Anweisungen der Lotsen ausführen und die simulierten Flugzeuge „steuern“.

Die Arbeitsplätze im Tower-Simulator der DFS sind mit Touch-Displays der Firma Wacom ausgestattet (Wacom Cintiq 21UX). Da diese Bildschirme per Stift (Grip-Pen)

bedient werden, wurde das HMI so konzipiert, dass alle notwendigen Eingaben und Interaktionen mit diesem Stift ohne Zuhilfenahme weiterer Eingabegeräte vorgenommen werden können.

4.2. Implementierung des HMI-Prototypen

Ziel der softwareseitigen Entwicklungsarbeiten war es, am Ende des Entwicklungsprozesses eine möglichst flexible Software-Struktur für die Realzeitsimulationen verfügbar zu haben. Denn nur so ist es möglich, die im Rahmen des evolutionären Prototyping zu erwartenden und für die Weiterentwicklung wichtigen Änderungs- bzw. Verbesserungsvorschläge kurzfristig implementieren zu können. Des Weiteren sollte die einzusetzende Systemarchitektur genug Stabilität bieten, um das System nach der Entwicklungsphase möglichst schnell in den operationellen Betrieb zu überführen.

Die HMIs wurden mit Hilfe der QT Grafikbibliothek der Firma Trolltech in SVG realisiert. Diese Programmiersprache erlaubt eine flexible Gestaltung der zu programmierenden Oberfläche in einem standardisierten Format. Für die Systemarchitektur wurde eine Client-Server Architektur gewählt. Ein spezialisierter Server Prozess kümmert sich um die Geschäftslogik der Flugstreifen, ein weiterer Server um die Generierung der Grafik. Die Darstellung übernehmen so genannte Thin Clients, dabei handelt es sich um recht einfache Prozesse, die lediglich die Darstellung der auf dem SVG Server generierten Grafiken übernehmen. Die Kommunikation zwischen Client und Server wurde mit dem SOAP Protokoll realisiert, welches auch von QT durch spezielle Bibliotheken unterstützt wird. Die Verwendung des SOAP Protokolls ermöglicht einen Betrieb zwischen Client und Server auch über Firewall-Grenzen hinweg. Dies ist notwendig, da die eher leistungshungrigen Server in zentralen Rechenzentren betrieben werden, die Clients hingegen direkt am Lotsenarbeitsplatz. Dabei müssen oft größere Strecken überwunden werden.

Die Vorteile der Client-Server Architektur liegen in einer hohen Skalierbarkeit der darstellenden Clients und der Verwendung von Hardware mit geringen Anforderungen an die Performance. Dadurch können an den Lotsenarbeitsplätzen sehr leise, d.h. passiv gekühlte Rechner zum Einsatz kommen, was sich positiv auf das Arbeitsklima auswirkt. Ein Server kann je nach verwendeter Hardware ca. 10 Clients bedienen. Bei einer höheren Anzahl an Clients wird einfach ein weiterer Server hinzugenommen, der für die Anbindung der darüber hinausgehenden Clients zur Verfügung steht.

Die Server werden über die delay eigene A-CDM (Advanced Collaborative Decision Making) Plattform mit den erforderlichen Flugplandaten versorgt. Diese Plattform wurde entwickelt, um die Prozesse des betrieblich genutzten Departure Managers über einen Rechner Cluster hinweg mit Daten zu versorgen. Dabei laufen alle Prozesse mindestens zweimal, einmal im aktiven Modus und zum anderen in einem hot-standby Modus. Damit sind sie jederzeit in der Lage die Arbeit des aktiven Prozesses im Fehlerfall der Hardware oder auch der Software zu übernehmen. Durch das Cluster-Prinzip kann ein Ausfall der Hardware ohne merkliche Auswirkung auf den Anwender kompensiert werden.

4.3. Bewertungsmethodik

In den Simulationen wurden die Lotsen ständig arbeitswissenschaftlich begleitet und ihre Bedienhandlungen und -schwierigkeiten protokolliert.

Die Lotsen erhielt zu Beginn eine kurze Einführung in die Bedienlogik des Interfaces sowie ihre eigenen Aufgaben. In der anschließenden Simulation wurde eine alltägliche Situation am Tower nachgestellt, wobei die Lotsen angewiesen wurden, sich möglichst realitätsnah zu verhalten.

Zusätzlich erfolgte die Anweisung, Gedanken und Überlegungen bezüglich des verwendeten Interfaces laut zu äußern, um sie so den Beobachtern zugänglich zu machen (Methode des lauten Denkens, vgl. Bortz & Döring 2002). Der Schwerpunkt der Instruktion lag jedoch auf der korrekten Erfüllung der Arbeitsaufgabe, um so eine dem normalen Tower-Betrieb annähernd gleiche Arbeitsweise zu erhalten.

Um strukturierte und verlässliche Daten zu erhalten, wurde die Methode des Beobachtungsinterviews gewählt (vgl. Dunckel 1999). Der Beobachter kann damit seine Erkenntnisse direkt mit dem Nutzer besprechen, offene Fragen und Unklarheiten beantworten und so die eigenen Beobachtungen direkt verifizieren. Auch nicht direkt beobachtbare Informationen wie beispielsweise die Einschätzungen und Meinungen der Lotsen bezüglich des HMI können so erfasst werden.

Zwar stellt dieses Vorgehen, wie generell die Verwendung einer Simulationsumgebung, auch einen größeren Eingriff in den natürlichen Arbeitsablauf des Lotsen ein. Hier kommt aber eine Besonderheit der Benutzergruppe zum Tragen: Die Arbeit im Tower-Simulator ist den Lotsen vertraut, da sie auch in ihre Aus- und Weiterbildung integriert ist. Auch die Interaktion mit anderen Personen, über Funk oder persönlich, ist im Arbeitsalltag der Lotsen üblich. Daher wurde die Beeinträchtigung durch die Befragung während der Arbeit im Vergleich zum großen Nutzen der gewonnenen Daten als gering eingeschätzt.

Zur Ergänzung der während der Simulation erhaltenen Daten wurde im Anschluss an jeden Simulationslauf ein weiteres, strukturiertes Interview zu Aspekten der HMI-Gestaltung und -Bedienung durchgeführt.

5. BASIS-ENTWURF

In diesem Abschnitt wird zuerst schematisch der Aufbau des Basis-Entwurfes (BILD 3) beschrieben. Darauf folgt eine Aufstellung der Anpassungen, die aufgrund der Erfahrungen mit dem HMI während der vier Realzeitsimulationen vorgenommen wurden.

5.1. Zeitleiter

Die für den Lotsen wichtigen Informationen sind auf dem Bildschirm in Bereichen mit unterschiedlicher Bedeutung (BILD 4) angeordnet. Seine Aufmerksamkeit gilt vor allem Luftfahrzeugen, die innerhalb der nächsten Minuten die Runway belegen werden. Informationen über diese Luftfahrzeuge sind im Zentrum des Displays und damit im Aufmerksamkeitsfokus des Lotsen angeordnet.

In Anlehnung an das Tower-TID wird hierzu auf das Prinzip der Zeitleiter zurückgegriffen. Die Darstellung der einem Luftfahrzeug zugeordneten Informationen erfolgt zusammengefasst in Form so genannter Label, die entsprechend der zu erwarteten Bahnbelegungszeit entlang der Zeitleiter angeordnet sind. Dort werden alle Luftfahrzeuge angezeigt, deren Start oder Landung für die nächsten sechs Minuten geplant bzw. erwartet ist. Sie bewegen sich langsam entlang der Zeitleiter auf den Jetzt-Zeitpunkt zu.

Passend zur Außensicht des Lotsen auf das Parallelbahnsystem in Frankfurt verläuft die Zeitleiter in horizontaler Richtung. Der Jetzt-Zeitpunkt befindet sich analog zur Anflugrichtung der Luftfahrzeuge bei der hier dargestellten Betriebsrichtung 25 im mittleren linken Bereich des Bildschirms.

Label der Luftfahrzeuge für die Piste 25R sind oberhalb, die für die Piste 25L unterhalb der Zeitleiter dargestellt. Bei dieser Art der Darstellung ist zu beachten, dass der Abstand zweier Label auf der Zeitleiter nicht ihrer räumlichen Entfernung zueinander entspricht.

5.2. Stacks

Geringere Aufmerksamkeit benötigen dagegen diejenigen Luftfahrzeuge, die erst zu einem späteren Zeitpunkt die Start- und Landebahnen belegen werden oder sich noch nicht bzw. nicht mehr im Verantwortungsbereich des Lotsen befinden.

Informationen für diese Luftfahrzeuge sind daher in Form von Listen (Stacks) in den Eckbereichen des Bildschirms platziert und beanspruchen so weniger visuelle Aufmerksamkeit. Auf diese Weise werden aktuell wichtige von aktuell nicht wichtigen Objekten auch räumlich unterschieden, so dass dem Lotsen die visuelle Orientierung und Gewichtung seiner Aufmerksamkeit erleichtert wird.

Die Menge der Informationen auf den Labels im Stack ist reduziert, da zu diesem Zeitpunkt nur wenige Informationen von Bedeutung sind. Diese Daten können leicht in einer Zeile des Labels dargestellt werden. Durch die Stapelung der Label liegen so alle Informationen einer Art direkt übereinander und können so leichter auf einen Blick erfasst und miteinander verglichen werden.

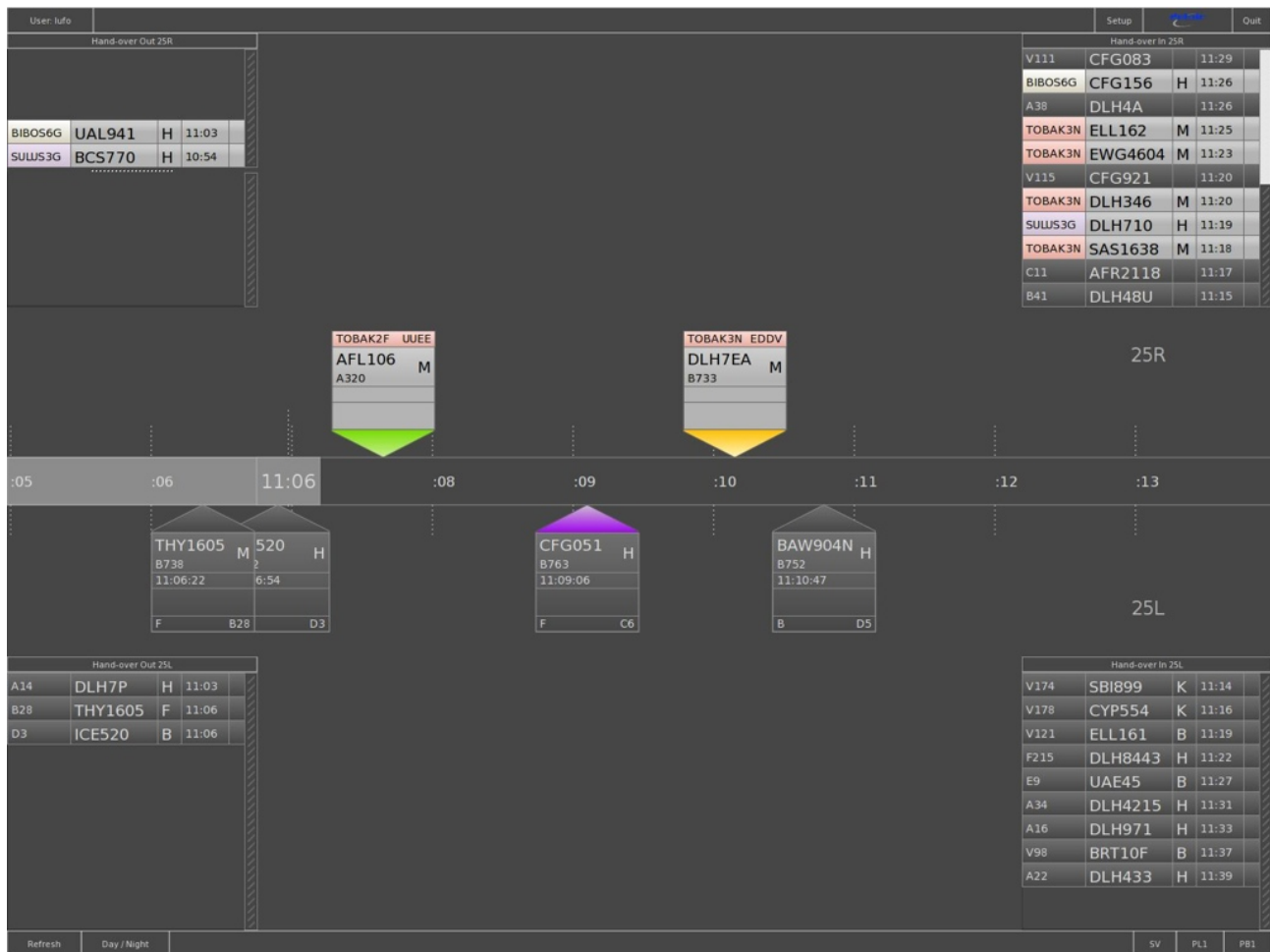


BILD 3: Basis-Entwurf vor Beginn der Simulationen

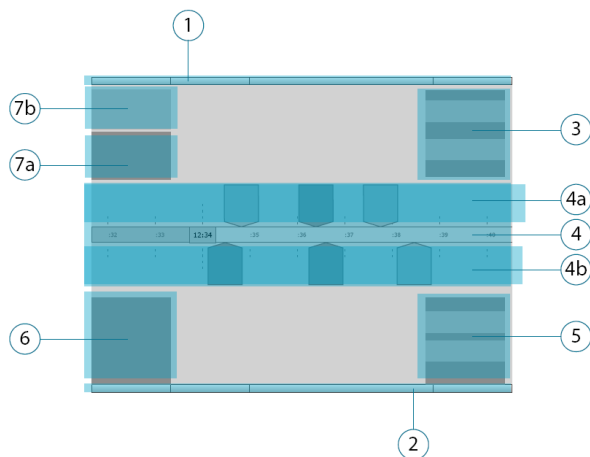


BILD 4: Schematischer Aufbau des HMI-Entwurfs

Legende:

- 1 - Statusleiste oberer Bildrand (enthält Funktionalitäten zur Anmeldung des Nutzers, der Bildschirmlkalibrierung, Tag/Nacht Einstellung, etc.)
- 2 - Statusleiste unterer Bildrand (enthält Funktionalitäten zur Anmeldung des Nutzers, der Bildschirmlkalibrierung, Tag/Nacht Einstellung, etc.)

- 3 - Hand Over In 25R (enthält die Stack-Darstellung der Arrival und Departure Flugbewegungen für die Nordbahn)
- 4 - Zeitleiste (enthält alle Flugzeugbewegungen der vergangenen 3 und kommenden 6 Minuten)
- 4a - Darstellungen der Flugzeugbewegungen, geplant für die Nordbahn
- 4b - Darstellungen der Flugzeugbewegungen, geplant für die Südbahn
- 5 - Hand Over In 25L (enthält die Stack-Darstellung der Arrival und Departure Flugbewegungen für die Südbahn)
- 6 - Hand Over Out 25L (enthält die Stack-Darstellung der Arrival Flugbewegungen für die Südbahn)
- 7a - Hand Over Out 25R (enthält die Stack-Darstellung der Arrival Flugbewegungen für die Nordbahn)
- 7a - Hand Over Out 25L (enthält die Stack-Darstellung der Departure Flugbewegungen für die Nordbahn)

5.3. Label-Gestaltung

Als Label wird die grafische Repräsentation eines Luftfahrzeugs bezeichnet. Ein Label enthält alle Informationen, die für den Tower-Lotsen relevant sind, zum Teil in alphanumerischer, zum Teil in grafischer Form. Letzteres wird beispielsweise durch farbliche Gestaltung oder seine räumliche Position realisiert.

Die Unterscheidung von An- und Abflügen wird neben den Unterschieden in der dargestellten Information anhand der Hintergrundfarbe der Label getroffen. Abflüge sind hell-Anflüge dunkelgrau hinterlegt (vergl. BILD 5 und BILD 6).

5.3.1. Aufbau der Label

Jedes Label setzt sich aus Labelkörper und Labelkopf zusammen. Der Körper ist immer rechteckig, kann jedoch unterschiedliche Formen annehmen, je nachdem, an welcher Stelle des Prozesses sich das entsprechende Luftfahrzeug befindet (vergl. BILD 5 und BILD 7).

Die zentrale Information eines Labelkörpers ist das Callsign des Luftfahrzeugs. Es dient der Identifikation und steht daher an erster Stelle. Ebenfalls wichtig ist der Aircraft-Type, der daher an zweiter Stelle angezeigt wird. Von geringerer Bedeutung sind dagegen Slot-Zeiten und Anmerkungen. Sie sind daher kleiner und weniger auffällig dargestellt.

Die verbleibenden Informationen werden in der letzten Zeile visualisiert. An dieser Stelle befinden sich bei einem ankommenden Luftfahrzeugen (Arrival) Daten zu Taxiway und Stand. Bei einem startenden Luftfahrzeug (Departure) sind hier dagegen Informationen zu Abflugroute (SID) und Zielflughafen (Destination) zu finden, zum Teil in alphanumerischer, zum Teil in farblicher Codierung. Durch diese Kombination soll die Komplexität der Information „SID“ aufgelöst werden, so dass sie leichter aufgenommen und verarbeitet werden kann.

Im Gegensatz zu den anderen Informationen im Labelkörper verändert diese letzte Informationszeile ihre Position, da sie sich immer auf der entgegengesetzten Seite der Labelspitze befindet und durch deren Seitenwechsel beeinflusst wird.

Die auf einem Label dargestellten Informationen wurden danach ausgewählt, was der Tower-Lotse in der jeweiligen Situation benötigt. Einige davon sind immer auf dem Label zu finden, andere nur unter bestimmten Voraussetzungen.

Folgende Informationen können enthalten sein:

- Callsign
- Wirbelschleppenkategorie
- Slot / Zeit
- Status der Luftverkehrsfreigabe
- Aircraft Type (nur bei Labeln an der Zeitleiter)
- Remarks (nur bei Labeln an der Zeitleiter)
- Standard Instrument Departure Route (SID) (nur bei Departure)
- Destination (nur bei Departure und Labeln an der Zeitleiter)
- Taxi (nur bei Arrivals)
- Stand (nur bei Arrivals und an der Zeitleiter)

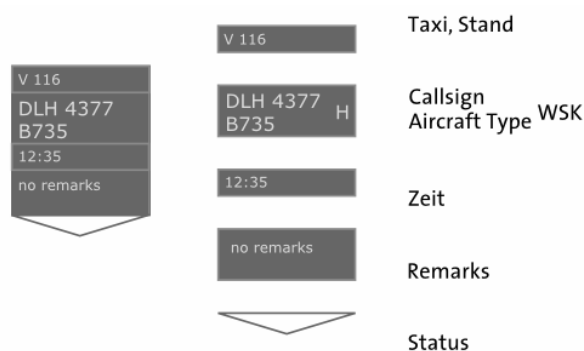


BILD 5: Label an der Zeitleiter (Anflüge)

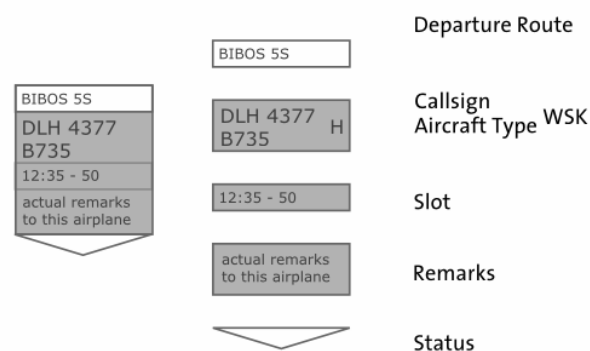


BILD 6: Label an der Zeitleiter (Abflüge)



BILD 7: Label im Stack (Anflüge)



BILD 8: Label im Stack (Abflüge)

Der Labelkopf hat ebenfalls unterschiedliche Formen, abhängig von dem Zustand bzw. der Position des Labels. Während ein Label im Stack einen rechteckigen Kopf auf der rechten Seite des Körpers besitzt (BILD 7 und BILD 8), befindet sich bei einem Label an der Zeitleiter eine dreieckige Spitze ober- oder unterhalb des Körpers (BILD 5 und BILD 6).

Der Labelkopf zeigt durch seine Farbe den aktuellen Status der Luftverkehrsfreigabe des Luftfahrzeugs an. Da das Label im Stack jedoch keiner Zeit auf der Zeitleiter zugeordnet ist, ist hier eine Pfeilform nicht notwendig.

Durch die Kombination von strukturiertem Aufbau einerseits und farbige Balken bzw. Spitzen andererseits können wichtige Informationen leicht gefunden und erfasst werden.

Der strukturierte Aufbau führt in Verbindung mit festen Bereichen auf dem Bildschirm zu einer rasterförmigen, übersichtlichen Anordnung der Label. Erste Eindrücke, z.B. über Anzahl und Position aktuell relevanter Luftfahrzeuge, können so leicht gewonnen werden. Die farbigen Hervorhebungen ermöglichen ebenfalls das Erfassen wichtiger Informationen auf einen Blick, wie beispielsweise von Status und dem daraus erfolgenden Handlungsbedarf.

5.3.2. Verwenden von Farben

Bei der Zuordnung der Farben zu ihrer Bedeutung wurde sowohl die Codierung des Tower-TID als auch die allgemein verwendete Farbhierarchie berücksichtigt. Durch die Verwendung schon bekannter Farbschemata sind weniger Lernprozesse nötig und weniger Fehler zu befürchten. Da mehrere Informationen (Status und SID) mittels Farbe codiert werden, wurden zwei unterschiedliche Farbgruppen verwendet, die sich leicht unterscheiden lassen. So ergaben sich Farbcodierungen für:

- Status: klare bzw. kräftige Farben (Tabelle 1)
- SID-Gruppen: Pastelltöne
- Anflug / Abflug: dunkelgrau bzw. hellgrau

Bei sämtlichen Farbdarstellungen muss berücksichtigt werden, dass sie sowohl in der Tag- als auch in der Nachtdarstellung sowie bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen gut erkennbar, unterscheidbar und blendfrei sind.

Farbe	Verwendung	Beispiel
violett	allgemein: keine besondere Bedeutung -> hier: erfolgte Kommunikation	Arr: Initial Contact Dep: Initial Contact
grün	allgemein: betriebsbereites oder fehlerfrei laufendes System, sicherer Systemzustand -> hier: Freigabe (Clearance), Erlaubnis	Arr: Landing Clearance Dep: Take-off Clearance
gelb-orange	allgemein: nicht sicherer Systemzustand, keine sofortige Handlung notwendig, aber Aufmerksamkeit -> hier: besondere Aktion noch vor der Freigabe	Arr: Swingover Dep: Line-Up
rot	allgemein: Signal-, Warnfarbe, Systemfehler, -defekt, -ausfall, unmittelbare Gefahr, kritischer Systemzustand, sofortige Handlung notwendig -> hier: Warnung, besondere Aufmerksamkeit erforderlich, Abweichung vom üblichen Ablauf	Arr: Missed Approach Dep: Warning
türkisblau	allgemein: Hinweise auf besonderes Verhalten oder Tätigkeiten, reine Informationsanzeigen -> hier: besondere, aber nicht zeitkritische Handlung erforderlich	Arr: Crossing Dep: -
grau	allgemein: neutral, keine besondere Bedeutung, „Nicht-Farbe“ -> hier: neutraler Status, nicht im Verantwortungsbereich des Tower-Lotsen	noch kein Status bzw. kein Status mehr

Tabelle 1: Farben zur Darstellung des Status

5.4. Interaktionen mit dem HMI

Die logische Abfolge der Luftverkehrs freigaben ist hinterlegt, sodass die sukzessive Zuweisung des Status durch einen Klick mit der Stiftspitze auf den Labelkopf erfolgt. Für den Fall einer Fehleingabe oder wenn einzelne Informationen nicht korrekt sind, ist eine Editierfunktion vorgesehen. Mittels eines Kontextmenüs (BILD 9 und BILD 10), das sich durch Antippen des Labelkörpers anzeigen lässt, können die Informationen verändert bzw. Anmerkungen (Remarks) hinzugefügt werden.



BILD 9: Kontextmenü für Anflüge

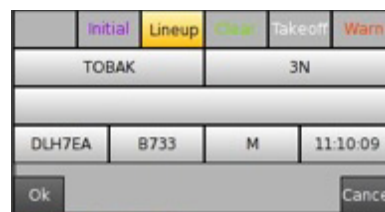


BILD 10: Kontextmenü für Abflüge

Da der gesamte Labelkörper als Feld dient, kann das Kontextmenü auch bei den automatischen Bewegungen der Label entlang des Zeitstrahls leicht aufgerufen werden. Wäre das Feld jedoch zu klein, wie es beispielsweise der Fall wäre, wenn jede Information direkt im Label editiert werden würde, könnte das nicht sichergestellt werden.

Alle Bereiche des Labelkörpers sind editierbar. Durch Antippen mit dem Stift öffnet sich neben dem Label ein Kontextmenü-Fenster. Dort stehen in der ersten Stufe mehrere Eingabe- und Auswahlfelder zur Verfügung. Anzahl und Inhalt der Felder unterscheidet sich für Arrival und Departure ausgehend von den jeweiligen Informationen und Eingabebedürfnissen.

Mit dem Stift können die entsprechenden Felder ausgewählt werden. Diese Auswahl führt teilweise direkt zu einer Änderung, teilweise zum Erscheinen eines weiteren Menüfensters, in dem Eingaben gemacht werden können. Je nach Eingabemöglichkeiten wird dazu eine virtuelle Tastatur (Buchstaben oder Zahlen) oder eine Liste angezeigt. Damit erfolgt selbst hier die Eingabe mit dem Stift, wodurch die Konsistenz der Eingabe erhalten bleibt.

Das mitwandernde Kontextmenü bietet gegenüber einem an einem festen Platz dargestellten Menü den großen Vorteil, dass größere Bewegungen über das Display hinweg nicht nötig sind.

Sowohl der Blick des Lotsen als auch der Stift verbleiben in der Nähe der aktuellen Objekts, eine Orientierung auf dem gesamten Display ist nicht nötig. Durch die kurzen Wege mit dem Eingabegerät erhöht sich nach „Fitt's Law“, das den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen der benötigten Zeit zur Positionierung, der Entfernung einer Eingabemarke vom Ziel sowie der Größe des Ziels beschreibt, neben der Bediengeschwindigkeit auch die Präzision und damit die Bediensicherheit.

6. HMI-ENTWURF NACH EVOLUTIONÄREM PROTOTYPING

Der Beurteilung des HMI im Rahmen von vier Realzeitsimulationen bestätigte im Wesentlichen das Design- und Interaktionskonzept. Die im Rahmen des evolutionären Designprozesses vorgenommenen Änderungen erwiesen sich als sinnvoll und wurden von den Lotsen positiv bewertet. Die augenfälligsten Modifikationen gegenüber dem Basisentwurf lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Die Darstellung der Label am Zeitstrahl wurde erheblich modifiziert. Während sich die Darstellung der Label im Basisentwurf noch am Tower-TID orientiert, weisen die Label zum Zeitstrahl hin nun keine Pfeile mehr auf. Sie sind komplett rechteckig gehalten und markieren ihren entsprechenden Zeitpunkt nur durch eine feine senkrechte Linie zum Zeitstrahl.

Auch der Aufbau der Label hat sich geändert. So ist z.B. die farbliche Markierung des Status nicht mehr zum Zeitstrahl hin aufgesetzt sondern befindet sich immer einheitlich am linken Rand des Labels.

Darüber hinaus werden nun die Label für die Abflüge in je einer separaten Zeile ober- bzw. unterhalb der Arrival-Label dargestellt. Dies dient einer besseren Unterscheidung zwischen An- und Abflügen.

Weiter wurde zur besseren Lesbarkeit der Informationsinhalt sowie die Anordnung der Informationen in den Label sowie die Gestaltung der Zeitleiter überarbeitet.

Wesentliche Veränderungen betreffen auch die Interaktionen der Lotsen mit dem HMI. Da die Hauptinteraktion der Lotsen mit den Labeln in der Veränderung des Status besteht, wurde die gesamte Labelfläche als „klickbarer“ Bereich definiert. Nun kann durch einen Druck mit der Stiftspitze auf eine beliebige Stelle des Labels eine Umschaltung zum nächsten logischen Status vorgenommen werden. Dies verkürzt die Interaktionszeit erheblich. Nur bei nicht routinemäßigen Interaktionen muss noch das Kontextmenü aufgerufen werden. Dies erfolgt nun durch ein Drücken mit der Stiftrückseite (Radiergummi) auf einen beliebigen Bereich des Labels.

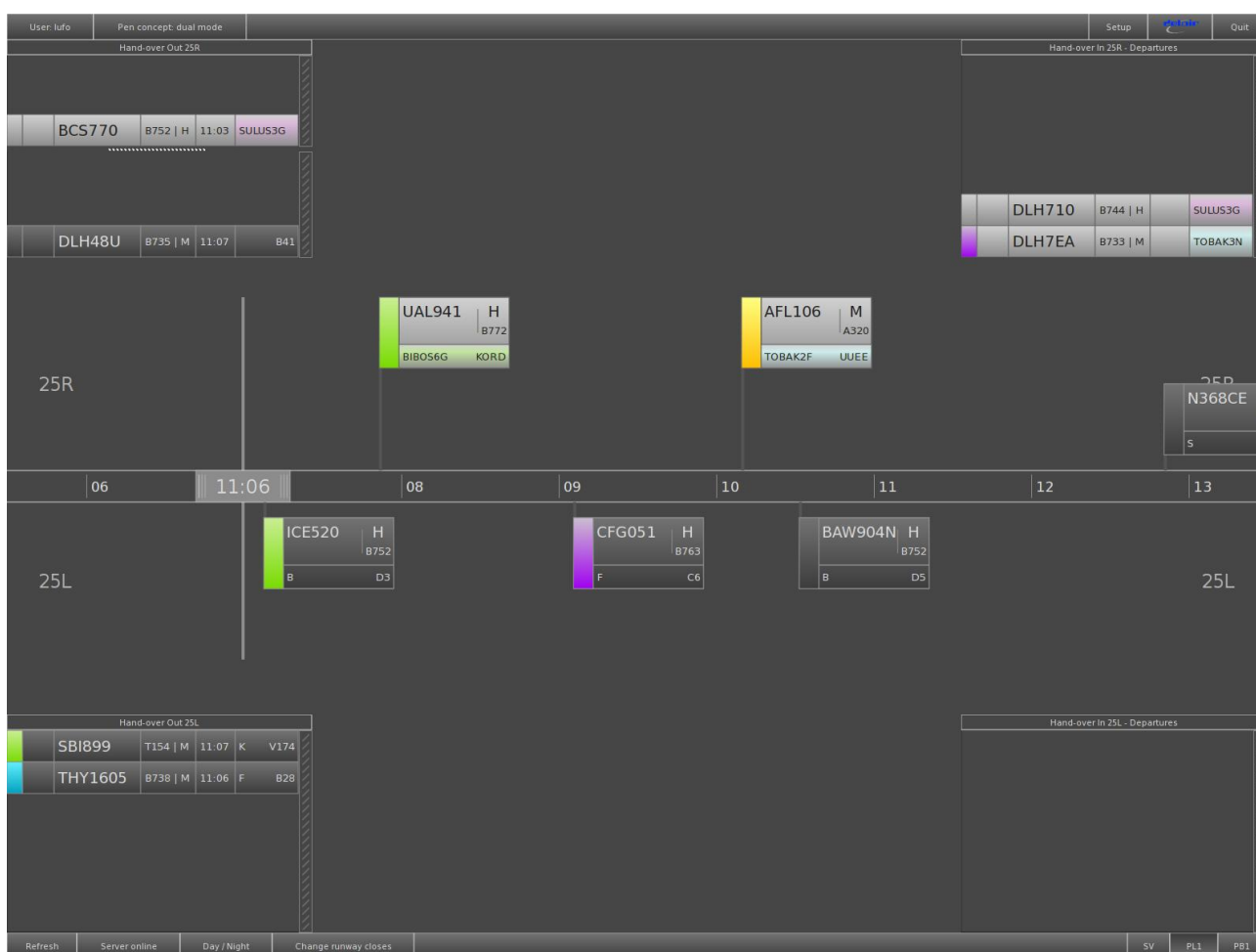


BILD 11: Entwurf nach vier Simulationen

7. ZUSAMMENFASSUNG / AUSBLICK

In einem interdisziplinären Team aus Arbeitswissenschaftlern, Designern, Ingenieuren und Lotsen wurde ein Human-Machine-Interface (HMI) für einen Towerlotsen-Arbeitsplatz entwickelt. Dieses Interface soll die Arbeit des Tower-Fluglotsen sinnvoll unterstützen, indem es benötigte Informationen optimal aufbereitet und dem Lotsen situationsgerecht bereitstellt.

Entwicklungsbegleitend wurde das HMI in mehreren Realzeitsimulationen in einer realitätsnahen Umgebung, einem 3D-Tower-Simulator von betrieblichen Lotsen bewertet und schrittweise weiterentwickelt. Visualisierungs- und Interaktionskonzepte konnten so frühzeitig bewertet und auf ihre Eignung für den betrieblichen Einsatz im Tower überprüft werden. Während der Simulation wurden Beobachtungsinterviews mit den Lotsen durchgeführt, um beobachtete Bedienhandlungen besser bewerten und interne Prozesse erfassen zu können.

Der abschließende Gestaltungsentwurf entspricht sowohl betrieblichen als auch ergonomischen Anforderungen und genießt gleichzeitig eine hohe Akzeptanz bei den Tower-Lotsen.

Eine betriebliche Implementierung der integrierten Planungsanzeige ist im Rahmen der Neubauprojekte in Frankfurt, München und Berlin geplant. Dafür ist der vorliegende Prototyp jedoch noch u.a. in folgender Hinsicht weiterzuentwickeln:

- Implementierung von Betriebsrichtungswechseln
- Berücksichtigung von VFR-Verkehr
- Zusammenlegung von Arbeitsplätzen in den verkehrsschwachen Tagesrandzeiten

8. LITERATUR

Bortz, J. & Döring, N. (2002): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer.

Dunckel, H. (1999): Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren. Zürich: vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich.

Genov, A. (2005): Iterative Usability Testing as Continuous Feedback: A Control Systems perspective. In: Journal of Usability Studies, Vol. 1, Nr. 1, S. 18-27.

Leonhardt, J. (2005): Implementation of Critical Incident Stress Management at the German Air Navigation Services. In: Kirwan, B.; Rodgers, M. & Schäfer, D. (Hrsg.): Human Factors Impacts in Air Traffic Management. Hampshire: Ashgate Publishing Limited, S. 207-225.

Manning, C. & Stein, E. (2005): Measuring Air Traffic Controller Performance in the 21st Century. In: Kirwan, B.; Rodgers, M. & Schäfer, D. (Hrsg.): Human Factors Impacts in Air Traffic Management. Hampshire: Ashgate Publishing Limited, S. 283-31